

CRECIMIENTOS BIOLÓGICOS SOBRE MORTEROS SÍMIL PIEDRA. EVALUACIÓN, TÉCNICAS DE LIMPIEZA Y PROTECCIÓN

BIOLOGICAL GROWTH ON WHITE MORTAR ARTIFICIAL STONE. ASSESSMENT, CLEANING AND PROTECTION TECHNIQUES

V. Rosato¹, F. Iloro², R. Lofeudo³

1.- Investigadora Adjunta CONICET-LEMIT

2.- Prersonal de Apoyo CIC-LEMIT

3.- CIC-LEMIT

Resumen

Los revestimientos de muros exteriores, además de las agresiones de la intemperie, están sujetos al desarrollo de diversos organismos como: cianobacterias, microalgas, hongos y líquenes, que además del impacto estético, pueden deteriorar el material por medios físicos y químicos. Un buen procedimiento de limpieza debe contemplar la eliminación de estos microorganismos evitando dañar el material e incluir tratamientos que demoren el desarrollo de nuevas colonias.

Con esa finalidad, se ensayaron diversos mecanismos de limpieza en un muro con revestimiento símil piedra correspondiente a un edificio de la ciudad de La Plata construido en la década de 1930; el revestimiento se encuentra colonizado por diversos organismos. Se tomaron muestras para identificar los micro organismos y se realizó un muestreo previo mediante la técnica del número más probable para calcular cuántas unidades formadoras de colonias (UFC) existían en el lugar. También se estudio el sustrato colonizado.

Para la limpieza se emplearon distintas técnicas: hidrolavado a presión controlada, cepillado con cloro al 40% y cepillado con detergente de pH neutro. En todos los casos se procedió a un enjuague con abundante agua, se dejó secar durante tres días, colocándose con posterioridad hidrorrepelentes con base de silanos en solvente.

La eficacia de las técnicas y el sistema de protección fue evaluada mediante conteos microbiológicos a 1, 3, 6, 9 y 12 meses. En general, se hallaron números de UFC bajos, excepto en los sectores hidrolavados únicamente y cepillados con detergente pH neutro. Los hidrorrepelentes mostraron un efecto protector, sin mayores diferencias entre los productos utilizados.

Palabras clave: *símil piedra, limpieza, hidrorrepelentes, microorganismos, biodeterioro.*

Abstract

Cement plasters covering exterior walls, besides being exposed to weather conditions, are also subject to the development of organisms like cyanobacteria, microalgae, fungi and lichens, that apart from the aesthetic impact, may deteriorate the material by physical and chemical mechanisms. A good cleaning process must eliminate these microorganisms but avoid damage to the material and include treatments that delay the growth of new colonies.

With this aim, different cleaning mechanisms were tested on a wall covered with a stone imitation white mortar colonized by different organisms from a building in La Plata city built in the 1930s, in order to find the best cleaning method that delays for as long as possible the growth of new colonies. Samples were obtained to identify these organisms and a previous sampling using the most probable number technique to calculate how many colony-forming units (CFU) existed in the place.

Cleaning was performed in limited sectors, using different techniques: hydrojet washing with controlled pressure, hydrojet washing, brushing with sodium hypochlorite 40% and with one neutral pH detergent. Once the wall was cleaned, it was rinsed with abundant water, allowed to dry during three days and each sector was subdivided in three. In one sector a hydro-repelling agent with a base of sylane in solvent was applied; in other, a product with a base of syloxanes and alcoxysyloxanes in solvents; whereas the third was left without treatment as control.

New microbiological counts were performed after 1, 3, 6, 9 y 12 months. In general, low CFU numbers, except the sectors cleaned with hydrojet- washing and brushed with pH neutral detergent, whereas the hydro-repelling agents showed a protective effect, without great differences between the products.

Keywords: *white mortar plasters, cleaning, hydro-repelling products, microorganisms, biodeterioration.*

INTRODUCCIÓN

En el crecimiento y el desarrollo de microorganismos intervienen distintos factores, algunos vinculados a las condiciones medio ambientales del emplazamiento de la construcción (temperatura, humedad relativa, asoleamiento, etc.), condiciones que a veces pueden variar dependiendo de la orientación y conformación de la estructura dando origen a microclimas. Otros factores corresponden a las propiedades y características de los materiales constructivos (ladrillos cerámicos, rocas ornamentales, revoques, etc) como ser la porosidad, la rugosidad superficial, etc.

Uno de los materiales más empleado como revestimiento de muros y/o ornamentos de edificios construidos en la Provincia de Buenos Aires desde la década del '30 y hasta mediados del 50 del siglo XX, ha sido el mortero simil piedra o piedra parís [1]. Este material singular consiste

en incorporar al mortero constituido por cemento portland normal gris o blanco, reemplazando total o parcialmente un porcentaje de arena por rocas triturada, que le otorgan distinta tonalidad y rugosidad. En algunos casos estos morteros incorporaban pigmentos para otorgarle una determinada coloración. En muchos casos el simil piedra se obtiene empleando con exclusividad el cemento portland blanco con una terminación superficial particular.

Los revestimientos exteriores, además de las agresiones de la intemperie, están sujetos al desarrollo de diversos organismos como: cianobacterias, microalgas, hongos y líquenes, que además del impacto estético, pueden deteriorar el material por medios físicos y químicos [2].

Debe recordarse que un procedimiento eficaz de limpieza debe contemplar la eliminación de estos

microorganismos sin dañar el material e incluir protecciones que demoren el desarrollo de nuevas colonias [3].

En este trabajo se presentan las experiencias y ensayos de limpieza realizados en un muro con revestimiento de símil piedra correspondiente a un edificio histórico de la ciudad de La Pata. Las características del ambiente de emplazamiento del muro se resumen en la Figura 1 y en la Tabla 1, a partir de datos obtenidos en la estación meteorología ubicada en la zona del bosque platense.

Debe recordarse que para el crecimiento biológico además de las características del clima, existe un factor importante que es el asoleamiento de la construcción el cual varía las condiciones higrotérmicas de la misma. El asoleamiento define la influencia del sol sobre el interior y/o el exterior de una estructura de acuerdo a su ubicación; puede plantearse entonces que en los muros con una orientación NE-SO, el asoleamiento provocará sectores externos expuestos a la luz solar durante el verano y el invierno mientras que en otros sólo en

verano. Para el crecimiento de microorganismos, el microclima que se origina en las proximidades de la estructura resulta ser un factor decisivo pero también cobran importancia las características del material (rugosidad superficial, porosidad, etc).

PROGRAMA DE EXPERIENCIAS

El programa de experiencias consistió en un relevamiento visual y fotográfico in situ con el fin de evaluar la variación e intensidad del crecimiento biológico. Posteriormente se efectuó un muestreo del material de revestimiento y del manto biológico para su análisis, identificación y cuantificación.

Finalizada la etapa de análisis y evaluación se procedió a la aplicación de las distintas técnicas de limpieza y posteriormente se analizó la eficacia de cada técnica comparando la cantidad de colonias líquénicas existentes pre y post limpieza. Finalmente se aplicaron productos hidrorrepelentes en las superficies limpias como mecanismo de protección para aletargar el desarrollo y crecimiento de nuevas colonias, dejando sectores sin protección (patrón) a fin de evaluar la eficacia de estos productos. Se programó un plan de monitoreo en el tiempo para evaluar el comportamiento de los hidrorrepelentes, siendo el método empleado para la evaluación el raspado de las superficies y posterior cuantificación en laboratorio de las unidades formadoras de colonias (UFC).

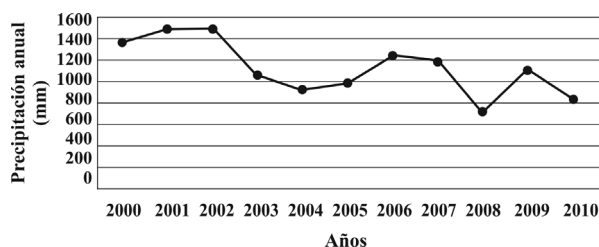


Figura 1. Precipitaciones anuales. Periodo 2000-2010.

Tabla 1. Valores medios de temperatura, humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV).

Estación	Temperatura (°C)			HR (%)	VV (km/h)
	Mínima Media	Máxima Media	Media		
Verano	17,6	28,5	23,0	71	12,0
Invierno	6,7	14,6	10,6	86	11,0
Media Anual	12,1	21,5	16,8	79	11,5

Relevamiento visual

El relevamiento visual fue realizado a fin de determinar y evaluar las zonas colonizadas por crecimientos biológicos, detectándose visualmente además, su intensidad. El crecimiento biológico no se desarrollaba en forma generalizada sobre el muro, existiendo sectores bien diferenciados respecto a su intensidad.

Sin embargo debe recordarse que en el grado de intensidad, además de los microclimas de los sectores, influye significativamente la orientación de las superficies, siendo más intenso en aquellas que presentan planos horizontales o inclinados, mientras que los planos verticales como es el caso del muro en estudio teóricamente presentan la menor colonización.

Estudio del mortero símil piedra

Para determinar en el mortero endurecido las proporciones del ligante y de los agregados se siguieron los lineamientos generales, especificados en la Norma DIN 52170. La muestra fue triturada hasta pasar por el Tamiz IRAM N° 80 ya que una mayor finura del material triturado origina una mayor lixiviación de los compuestos silíceos y de calcio de los agregados [4].

En el ensayo químico se determinó el contenido porcentual de Óxido de Sílice (SiO_2) y Óxido de Calcio (CaO) y el residuo insoluble en ácido clorhídrico. La determinación de Sílice se realizó de acuerdo a los lineamientos de la Norma IRAM 1504 y la determinación del contenido de Calcio por titulación con EDTA. Además, se determinó la densidad del material. También, se calculó la pérdida en peso de 100°C a 500°C y por calcinación a 950°C. La pérdida de 100°C a 500°C corresponde al agua de combinación y adsorción mientras que la pérdida a 950°C corresponde al CO_2 fijado en el proceso de carbonatación. En la Tabla 2 se informa los resultados obtenidos.

De los resultados del análisis químico surge que

el ligante empleado correspondería a un cemento portland blanco y tendría una relación ligante:árido, en peso, de aproximadamente 1:3. El árido está compuesto por una mezcla de arena natural y de arena de trituración, en una proporción de 40% y 60% respectivamente.

Tabla 2. Análisis químico, pérdida de 100°C a 500°C y por calcinación del mortero.

Determinaciones	
Densidad	2,39
CaO (%)	15,8
Si_2O (%)	4,6
Residuo insoluble (%)	67,5
Ligante hidratado (%)	32,5
Pérdida de 100°C a 500°C (%)	3,3
Pérdida por calcinación a 950°C (%)	14,8
CO_2 fijado (%)	11,5
Ligante (%)	21,0

La identificación mineralógica de las fracciones insolubles (material inerte) en solución de ácido clorhídrico, fue realizada bajo observación al microscopio polarizado. Previo a la disolución con el ácido clorhídrico se observó bajo lupa binocular la existencia de granos de mármol del orden de $18 \pm 3\%$, con tamaño comprendido entre 0,4 a 5mm.

Mineralógicamente se determinó que el residuo insoluble está compuesto por:

- Cuarzo (54%): Predominan los clastos angulosos a subredondeados de cuarzo monocristalino, a veces ricos en inclusiones aciculares, seguido en mucha menor proporción por cuarzo policristalino.
- Feldespato Potásico (32,5%): Se observaron clastos subredondeados de ortoclasas, alterados en caolinita y teñidos parcialmente por óxido de hierro.
- Plagioclasas (7%): Clastos subredondeados, escasos angulosos, se encuentran parcialmente

alterados en minerales arcillosos y teñidos por hematina.

- Clastos líticos (2,5%): Se observaron clastos subredondeados de limolitas y areniscas de grano fino, constituida por pequeños clastos de cuarzo y cemento de calcedonia y ópalo.

- Calcedonia (2,5%): Clastos subredondeados, con tonalidad amarillenta y estructura fibrosa.

- Piroxenos y minerales opacos (1,5%): Escasos clastos subangulosos de muscovita (láminas de bordes irregulares); relativamente abundantes clastos angulosos y subangulosos, de granate; cristales subredondeados, de circón; muy escasos granos subredondeados, de magnetita.

Mineralógicamente el agregado puede ser clasificado como una mezcla de una arena natural sílico feldespática, denominada comercialmente como arena oriental y una arena de trituración conformada por rocas de mármol trituradas.

Complementariamente se confirmó mediante Difracción de Rayos X los principales componentes del residuo, identificándose mayoritariamente compuesto de cuarzo (SiO_2) y calcita. Con apreciable contenido de feldespatos potásicos y escaso material arcilloso (esmectita) (Figura 2).

La granulometría de la arena natural se determinó siguiendo la Norma IRAM 1512 especificada para agregados finos. En la Tabla 3 se informa la granulometría y el módulo de finura (MF).

Identificación del manto biológico

El muestreo del manto biológico se efectuó mediante la técnica de raspado superficial, recogiendo el material obtenido en cápsulas de Petri. La identificación de las especies biológicas se realizó mediante observaciones en microscopio estereoscópico y óptico y con el uso de claves [5-12]. Para la identificación de mohos se efectuaron cultivos en el Laboratorio de Cultivo

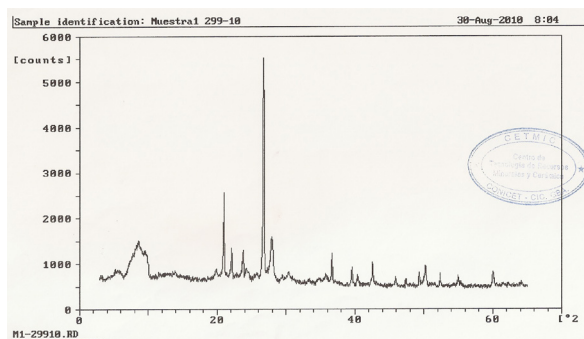


Figura 2. Difractograma .

Tabla 3. Granulometría de la arena.

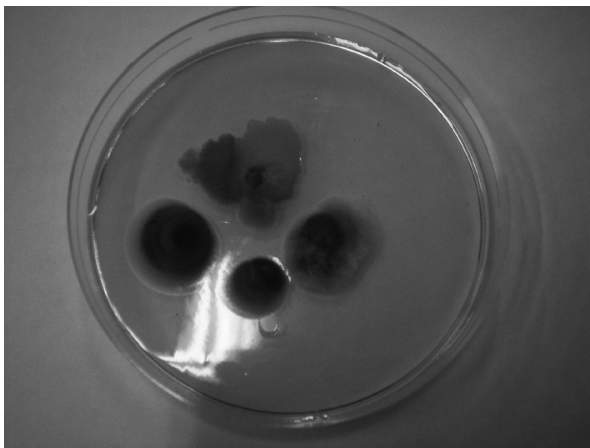
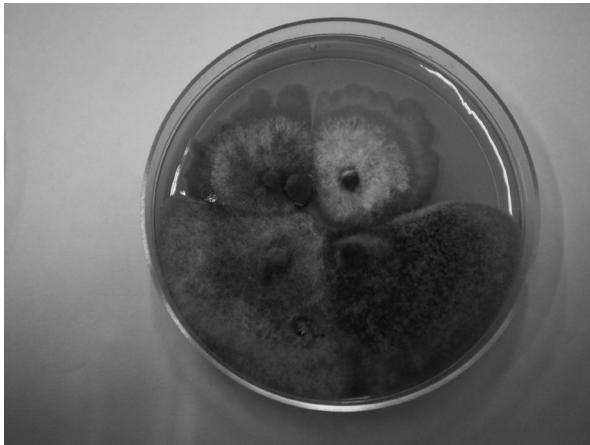
Tamiz N°	% que pasa
4	100
8	98
16	96
30	94
50	50
100	4
MF:	1,58

Microbiológico del LEMIT (Figuras 3 y 4) y luego se observó al microscopio cada muestra cultivada. Debe mencionarse que en todas las muestras se hallaron colonias constituidas por una sola especie y colonias con dos o tres especies creciendo en forma conjunta.

Las especies identificadas se pueden agrupar de acuerdo a su estructura y su relación con el medio ambiente en grandes grupos: cianobacterias, líquenes y musgos. A continuación se describen las especies identificadas en el manto biológico:

a) Cianobacterias (“algas verde-azuladas”): Son microorganismos relacionados con las bacterias pero, a diferencia de éstas, tienen clorofila y son capaces de fotosintetizar. Las especies halladas son:

- Aphanocapsa: Unicelulares - coloniales; colonias



Figuras 3 y 4. Detalle de los cultivos en capsulas de Petri.

pluricelulares, irregulares, usualmente amorfas al microscópico, gelatinosas, con células distribuidas irregularmente en la colonia, laxas o apretadas; mucilago incoloro, raramente amarillento, pardusco o azulado; células sin vaina propia. Células esféricas, hemisféricas luego de la división, azul grisáceo pálido o azul-verdosas.

b) Chlorophyta (“Algas verdes”): Chlorococcales (Chlorella): células globosas, de 2 a 10 μm de diámetro, inmóviles (sin flagelos) con cloroplastos que ocupan la mayor parte de la célula. Forman costras verdes.

c) Líquenes: Los líquenes son asociaciones simbióticas entre un alga (fotobionte) y un hongo

(micobionte) de cuya interacción se origina un talo estable, con estructuras y fisiología específicas. Carecen de raíz y de sistemas de conducción, son vulnerables a variaciones ambientales por carecer de estructuras selectivas o protectoras del medio externo como cutículas o epidermis. Son organismos autótrofos, desarrollándose en las superficies de diversos sustratos inertes u orgánicos y con distintas condiciones ambientales. Los líquenes secretan ácidos orgánicos durante su crecimiento, como por ejemplo ácido oxálico, de modo que pueden causar un deterioro químico superficial del sustrato cálcico. Además, como a medida que absorben o liberan agua durante los ciclos de mojado y secado, tienen cambios de dimensiones que crean tensiones sobre la superficie, pudiendo ocasionar un daño mecánico que, según las características del sustrato, pueden causar exfoliaciones (Figura 5).

En las imágenes al microscopio sobre cortes delgados del mortero símil piedra se observa que el talo del líquen presenta una adherencia superficial

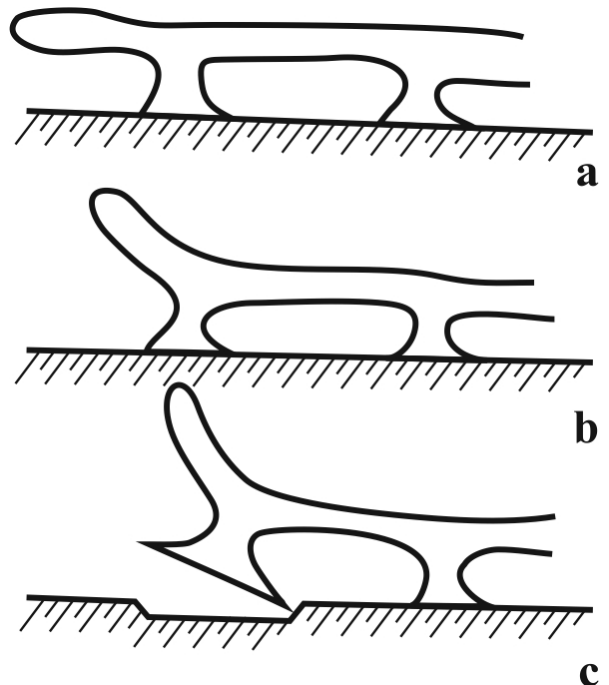


Figura 5. Acción sobre el sustrato.
a: hidratado c: deshidratado (de Mellor, 1922).

ubicándose preferentemente en poros, oquedades y fisuras preexistentes del material (Figura 6).

La especie identificada en el muro corresponde a:

- *Caloplaca ustrocitrina*: líquen crustoso, de color amarillo brillante, cubierto por corpúsculos llamados soredios, que sirven para la reproducción conjunta del hongo (micobionte) con el alga (ficobionte). Tiene además estructuras abiertas, en forma de copa, llamadas apotecios, donde se forman las esporas del hongo, que son incolores, elipsoides, de $10^{-14} \times 4^{-6} \mu\text{m}$. Esta especie, que se había identificado anteriormente como *C. citrina* [13], está ampliamente difundida en la provincia de Buenos Aires, colonizando diversos sustratos [14].

Técnicas de limpieza empleadas en las experiencias

Previo al inicio de las tareas de limpieza, se cuantificó la densidad del manto biológico existente empleado el método de número más probable, que consiste en delimitar un área (1000 mm^2) y tomar muestras mediante raspado de la superficie. En laboratorio la muestra se suspende en solución fisiológica estéril y se vuelca en un medio de agar nutritivo derretido en tres cápsulas de Petri. Se deja

enfriar el agar por un minuto y se añade 1ml de la suspensión en cada cápsula antes que el medio se gelifique. Los cultivos se incuban en estufa a 36°C y se cuentan las colonias desarrolladas a las 48 hs. Se calcula el promedio y se obtiene el número más probable de unidades formadoras de colonias en función del área (UFC). Debe mencionarse que el número de UFC indica el grado de contaminación microbiológica del sustrato. En la Tabla 6 se informan las UCF detectadas antes de los procesos de limpieza.

Descripción de las técnicas: Las técnicas evaluadas, actúan removiendo o eliminando la suciedad y/o el crecimiento biológico de forma diferente, por ejemplo el hidrolavado remueve la suciedad mediante acción física-mecánica (abrasión y erosión) mientras que las restantes combinan procesos físico-mecánicos y químicos (cepillado y sustancias químicas).

En uno de estos procedimientos no se empleo biocidas (nebulización con detergente de pH neutro y cepillado manual), lo que sólo permite remover los depósitos superficiales (suciedad y manto biológico) del sustrato, mientras que en la otra se empleo cloro como biocida, de modo que además de remover los depósitos superficiales se eliminan los seres vivos que colonizan el muro. En la Tabla 4 se describen las técnicas empleadas.

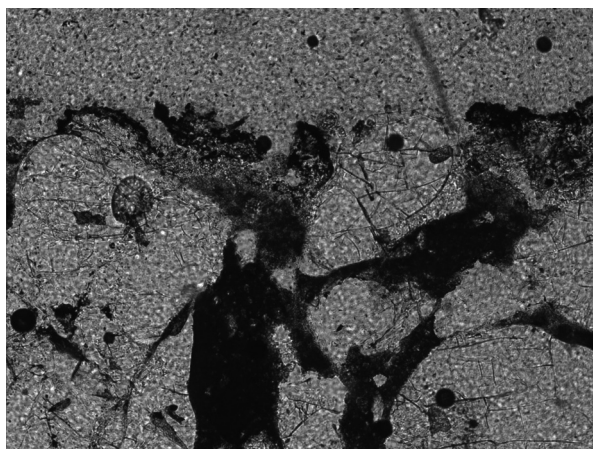


Figura 6. Fotomicrografía del corte delgado del mortero. Se observa al líquen fijándose en las fisuras del material.

- **Técnica 1. Hidrolavado con presión a distancia controlada:** El hidrolavado se realizó a una presión de $80 \pm 5 \text{ bar}$, con un pico de aplicación que permite regular el chorro de agua para que el mismo impacte en forma tangencial a la superficie. En esta técnica los depósitos biológicos y otras suciedades son eliminados mecánicamente por abrasión y erosión, por lo cual la presión y la distancia revisten importancia ya que dependiendo del tipo y del estado del sustrato pueden originarse daños irreversibles.

En la experiencia se observó el desprendimiento en porcentajes mínimos de granos de arena de la superficie del mortero símil piedra, lo cual originó

Tabla 4. Técnicas de limpieza.

Técnica N°	Descripción
1	Hidrolavado a baja presión (80 bar.) a distancia controlada y nebulización posterior de agua destilada clorada al 40%.
2	Humectado, cepillado manual con nebulización de agua destilada clorada al 40%.
3	Humectado, cepillado manual con nebulización de agua destilada con 30% de detergente de pH neutro.

una variación de rugosidad superficial. No se observó visualmente la existencia remanente de colonias biológicas. Se corrobora, entonces, que la técnica de hidrolavado provoca una alteración de la superficie del sustrato, dejando una cierta rugosidad, favoreciendo la acumulación de agua y la fijación de material orgánico e inorgánico. Además, las esporas y otros corpúsculos de reproducción se dispersan por el arrastre y salpicado del agua, con lo cual, teóricamente, en cortos períodos de tiempo los sustratos intervenidos pueden volver a ser colonizados.

42

- Técnica 2. Cepillado manual con nebulización de agua destilada clorada y enjuague: Previo a la ejecución de esta técnica se humedeció la superficie con agua potable, posteriormente se efectuó una nebulización con solución de agua destilada y cloro al 40% y luego se aplicó un cepillado manual con cepillos de cerda blanda. Al finalizar la limpieza se enjuagó con abundante agua.

El empleo de esta técnica alcanzó un resultado satisfactorio, ya que no se observan visualmente colonias biológicas ni tampoco la alteración de la superficie del material. Debe mencionarse que el cloro cumple la función de biocida, además de mejorar la limpieza del sustrato.

- Técnica 3. Cepillado manual con nebulización de agua destilada con bajo porcentaje de detergente de pH neutro y enjuague: Se humedeció primeramente la superficie, y se fue rociando con la solución de agua destilada y detergente de pH neutro y luego se efectuó un cepillado manual. En este caso la suciedad y las colonias biológicas son

eliminadas por acción mecánica del cepillado, ya que el detergente actúa eliminando exclusivamente la grasitud del material. Debido a esto la remoción resulta dificultosa, por lo que se debió realizar un cepillado más intenso que en la Técnica 2.

Esta técnica también dio resultados positivos, ya que se eliminaron las colonias y no se observaron desprendimientos de materiales. Pero el detergente no cumple la función de biocida, de modo que pueden desarrollarse nuevas colonias originadas a partir de esporas o corpúsculos que han quedado de las colonias originales. Para evitar este efecto, se complementó la limpieza con una nebulización con agua clorada antes de colocar el hidrorrepelente.

Eficacia de las técnicas de limpieza

Finalizada la limpieza y antes de la impregnación con hidrorrepelentes se procedió al muestreo mediante raspado de un área determinada (10000 mm²) de cada sector intervenido y en laboratorio se determinaron, mediante el número más probable, las unidades formadoras de colonias (UFC) remanentes. Los valores obtenidos se compararon con las UFC determinadas antes de aplicar las técnicas.

Algunas técnicas empleadas no han sido efectivas ya que se verifica la existencia de unidades formadoras de colonias luego del tratamiento. Solo en el caso de la técnica que emplea nebulización con cloro no se verificó la existencia de UFC. (Ver Tabla 6).

Tabla 5. Características de los hidrorrepelentes.

Características	Hidrorrepelente	
	A	B
Descripción	Protección hidrorrepelente para muros exteriores de base solvente.	Impermeabilizante de superficies de base solvente.
Aplicaciones	Impregnación hidrófuga líquida repelente de alta prestación. Genera una impregnación profunda en las superficies porosas penetrando por los capilares a través de los poros produciendo una repelencia efectiva y duradera del agua de lluvia.	Impermeabilización superficial que actúa disminuyendo la penetración del agua de lluvia sobre los materiales porosos no fisurados permitiendo que la superficie respire libremente.
Base química	Siloxanos en disolventes orgánicos.	Silanos y siloxanos en base solvente.
Densidad a 20°C	0,8 Kg/l	0,8 Kg/l
Secado	1 hora a 20°C y 65% HR	-----
pH	5 - 6	7 - 8

Sistema de protección

Luego de la limpieza en el sector hidrolavado y en el cepillado con detergente neutro se aplicó un biocida (nebulización con agua destilada con 40% de cloro) a fin de eliminar las colonias remanentes. Posteriormente se aplicaron hidrorrepelentes comerciales, dejando en todos los casos un sector sin aplicación el cual sirve control.

La característica principal de los hidrorrepelentes es evitar o disminuir la absorción de agua en los materiales porosos y a su vez permitir la evaporación de la humedad interior, formando una película protectora con varios milímetros de profundidad. En las experiencias desarrolladas se emplearon dos productos comerciales (Hidrorrepelentes A y B); sus características principales se describen en la Tabla 5 (información suministrada por los fabricantes).

Teniendo en cuenta la función que deben cumplir los hidrorrepelentes se programaron experiencias en laboratorio que consistieron básicamente en ensayos vinculados a la absorción de agua y a medir la vida útil del producto. Los resultados

indican que los hidrorrepelentes utilizados mejoran la capacidad de repeler agua, disminuyendo la absorción de agua alrededor del 50% y que esta capacidad se conserva luego de un envejecimiento acelerado. Además, se verificó que los productos ensayados presentan características similares de adhesión, permeabilidad y aspecto de la superficie luego de su aplicación.

Eficacia de los hidrorrepelentes

Los dos productos fueron colocados, en los sectores tratados con las distintas técnicas de limpieza, mediante impregnación con pincel sobre la superficie seca del simil piedra.

Según las recomendaciones técnicas los productos deben impregnar la superficie seca hasta su saturación. La efectividad de los tratamientos hidrorrepelentes fue monitoreada a 1, 3, 6, 9 y 12 meses de realizado el tratamiento, mediante el conteo de las UFC. En la Tabla 6 se informan los resultados.

Tabla 6. UFC antes y luego de la limpieza y monitoreo a 1, 3, 6, 9 y 12 meses del tratamiento integral.

Técnicas	Hidr.(1)	UFC						
		Limpieza		Monitoreo				
		Antes	Después	Mes				
				1	3	6	9	12
Hidrolavado (2)	---	91,0	2,3	1,0	0,3	0,0	2,6	0,3
	A			0,0	0,0	2,0	2,6	1,3
	B			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nebulización con cloro	--	156,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
	A			1,3	0,0	1,5	1,0	11,3
	B			0,0	0,3	0,0	1,6	0,0
Detergente Neutro (3)	--	147,6	2,6	---	---	1,0	0,7	2,0
	A			0,0	2,7	1,3	10,7	5,0
	B			---	0,6	1,0	0,3	35,6

Notas:

1.- Hidrorepelentes: A y B

2.- Luego de realizar el conteo y observar que existían restos de colonias en estos sectores se aplico la nebulización con cloro al 40% antes de proteger con los hidrorepelentes.

3.- Los resultados obtenidos a 1 y 3 meses no se informan debido a una posible contaminación de la muestra.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De las observaciones realizadas en el relevamiento visual surge claramente que el crecimiento y desarrollo del manto biológico en el muro revestido con un mortero símil piedra se debe fundamentalmente a las características del mortero y a las condiciones del medio ambiente. Los sectores donde el material retiene humedad debido a una baja velocidad de evaporación por ausencia de aireación y/o por un escaso asoleamiento, poseen las condiciones más adecuadas para el crecimiento biológico.

De los resultados obtenidos en la identificación del manto biológico se desprende que las especies que aparecen mayoritariamente son líquenes (*Caloplaca austrocineta*) y algas verdes (*Chlorococcales*).

Las observaciones visuales realizadas respecto a la eficacia de las técnicas de limpieza aplicadas ponen de manifiesto que existen diferencias en cuanto a la eliminación de las colonias biológicas y a las alteraciones del sustrato. El hidrolavado ha modificado la textura de las superficies, en las que se observa una modificación de su rugosidad. En las superficies donde se empleó detergente y el hidrolavado se evidencian restos de suciedad y/o de colonias, mientras que aquellas donde se aplicó la solución de cloro se observan limpias y sin alteraciones físicas.

De las técnicas de limpieza empleadas sobre el mortero símil piedra, surge de acuerdo a la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) determinadas luego del tratamiento que la técnica más efectiva ha sido la del cepillado manual con una nebulización con solución de cloro (biocida) al 40% en agua destilada. Mediante esta técnica

las UFC de la superficie tratada se redujeron a 0.

En lo que respecta al hidrolavado si bien elimina casi en su totalidad el manto biológico, debe mencionarse que resulta agresivo para el sustrato causando el desprendimiento de parte del material (arena), dando origen luego a una superficie con mayor rugosidad que facilita la fijación de nuevas colonias.

El tratamiento con cepillado manual empleando un detergente neutro permite eliminar un porcentaje importante de las colonias existentes y la nebulización posterior con cloro condujo a que las UFC a los 9 meses de la limpieza no sean significativas.

Puede plantearse entonces que la técnica más efectiva es el cepillado con nebulización de una solución de cloro al 40%, ya que elimina la totalidad de las especies biológicas existentes en el sustrato y no origina alteraciones de la superficie.

Como protección para evitar o aletargar los crecimientos biológicos post limpieza, se deben aplicar productos hidrórepelentes que generen una película en el sustrato hasta una cierta profundidad para disminuir la absorción de agua y permitir la evaporación de la humedad interna que se origine por otros procesos. De los estudios realizados sobre dos hidrórepelentes surge que ambos productos brindan una protección adecuada disminuyendo la capacidad de absorción de agua. La eficacia de estos tratamientos depende de la forma de aplicación la cual puede realizarse mediante rociado o pincelado, impregnando siempre hasta la saturación la superficie la cual deberá estar seca al momento de la aplicación. El proceso de aplicación debe ser supervisado adecuadamente, ya que su eficacia depende fundamentalmente de que se concrete in situ la película protectora la cual tendrá una determinada vida útil en servicio.

Del análisis de los resultados obtenidos puede manifestarse que las UFC determinadas a 1, 3, 6, 9 y 12 meses ponen de manifiesto que la protección

que otorgan ambos hidrórepelentes es similar. Además, no se aprecian cambios considerables en la formación de colonias tanto en los sectores con y sin tratamiento, lo que puede deberse al efecto del biocida (cloro) aplicado como prevención antes de la aplicación de los hidrórepelentes como así también al tiempo máximo de evaluación de 12 meses, que puede considerarse como no significativo para el crecimiento y desarrollo de colonias biológicas.

CONSIDERACIONES FINALES

Como conclusión final de los estudios y ensayos realizados en el muro de mampostería revestido con un mortero similar piedra, emplazado en la ciudad de La Plata, surge que por su ubicación y por el tipo del material, resulta lógico que crezcan y se desarrollen microorganismos sobre las superficies expuestas, existiendo sectores más proclives debido a los microclimas particulares que se originan.

Para la eliminación del manto biológico debe seleccionarse una técnica de limpieza que combine una acción mecánica para la remoción del manto y otros depósitos superficiales y el empleo de un biocida para asegurar la extracción y mortandad de los microorganismos como ha sido demostrado por ejemplo con la técnica de cepillado con nebulización con cloro al 40%. Cuando la estructura que se desea limpiar posea una magnitud considerable, realizar una intervención mediante cepillado puede ser una tarea dificultosa debido a los tiempos y costos operativos involucrados. Puede resultar conveniente, entonces, efectuar un relevamiento previo de la estructura determinando los sectores que se encuentran más alterados, sobre los cuales debería aplicarse la técnica de cepillado mientras que en aquellos otros que se observen sin alteraciones puede emplearse un hidrolavado a baja presión (< a 50 bar) y a una distancia controlada (mínimo 60 cm) complementando la operación con la aplicación de un biocida (cloro) mediante nebulización.

Luego del proceso de limpieza resulta conveniente aplicar productos hidrorrepelentes como protección a fin de evitar o aletargar nuevos crecimientos. La aplicación de estos productos debe realizarse inmediatamente después de culminar las tareas de limpieza, debiendo estar las superficies de los sustratos en condición seca.

Agradecimientos

Al personal de las áreas de Mineralogía y Petrografía y de Corrosión y Durabilidad del LEMIT, por las determinaciones realizadas sobre los materiales. Al Ing. Luis P. Traversa por su colaboración.

REFERENCIAS

- 1.- Traversa, L.P., Di Maio, A.A., Rosato, V., Iloro F. (2008). Arquitectura moderna en la pampa argentina: diagnóstico y restauración de portales de cementerio construidos en la década de 1930. Apuntes 21, pp. 194-205.
- 2.- Caneva, G., Nugari, M.P., Salvadori, O. (2005). La biologiavegetale per i beniculturali, Vol. 1: Biodeterioramento e conservazione, Nardini, Florencia, Italia.
- 3.- Rosato, V.G. (2002). Hidrolavado de superficies colonizadas por líquenes en monumentos y edificios históricos. Jornada: Técnicas de restauración y conservación del patrimonio. La Plata. (Ed. en CD).
- 4.- Traversa, L.P., Iloro, F.H., Marquez, S. (2011). Determinación de la composición de morteros endurecidos de cal, híbridos y de cemento portland. II COIBRECOPA y X Jornada de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio. La Plata.
- 5.- Bourelly, P. (1972). Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. I. Les algues vertes. Boubée& Cie. Paris, Francia, Vol. 1, p. 572.
- 6.- Carmichael, J.W., Kendrick, W.B., Connors, I.L., Sigler, L. (1980). Genera of hyphomycetes. TheUniversity of Alberta Press, Canada.
- 7.- Osorio, H.S. (1977). Apuntes de liquenología y clave para los géneros de líquenes de los alrededores de Buenos Aires. Sociedad Argentina de Botánica, Notas Botánicas.
- 8.- Poelt, J. (1969). Bestimmungsschlüssel der europäischen Flechten. Cramer, Lehre.
- 9.- Gómez de Saravia, S.G., Fontana, J.M., Guiamet, P.S. (2009). Caracterización de biofilmsalgales provenientes de la Catedral de La Plata. En: Reunión Interdisciplinaria de La Provincia sobre biofilmes. INIFTA –CIC- CONICET, La Plata. (Ed. en CD).
- 10.- Nimis, P.L., Monte, M., Tretiach, M. (1987). Flora e vegetazione lichenica di aree archeologiche del Lazio, StudGeobot 7 pp. 3-161.
- 11.- Rosato, V.G. (2006). Diversity and distribution of lichens on mortar and concrete in Buenos Aires Province, Argentina. - Darwiniana Vol. 44, N°1, pp. 89-97.
- 12.- Rosato, V.G., García, R., Viera, Barreto, J. (2009). Análisis de cobertura de Caloplaca austroclitina en las paredes de la Catedral de la Inmaculada Concepción de La Plata. 1^{er} Congreso Iberoamericano de Conservación del Patrimonio. LEMIT, La Plata, Argentina. (Ed. en CD).
- 13.- Rosato, V.G. (2010). Arup U. Caloplaca austroclitina (Teloschistaceae) new for South America, based on molecular and morphological data. The Bryologist, Vol. 113, N° 1, pp. 124-128.
- 14.- Rosato, V.G., Traversa, L.P. (2000). Lichen growth on a concrete dam in a rural environment (Tandil, Buenos Aires Province, Argentina). Proceedings of the 1st International RILEM Workshop Microbial Impact on Building Materials. Sao Paulo. (Ed. en CD).